

几种主要淡水鱼类温度基准值的研究

汪锡钧 吴定安

(上海市水产研究所, 200433)

提要 为保护水域生态环境的平衡, 合理利用水资源和为制定发电厂热水排放的温度标准, 提供有关水生生物的温度基准值, 对青鱼、草鱼、鲢、鳙和鲤等七种主要淡水经济鱼类作了温度基准值的研究, 提出了最适生长温度, 最大致死温度及短期暴露最大高温等基准值, 以作为确保水生生物能正常生长与繁殖情况下, 环境温度的评价标准。研究结果经鉴定确认可以作为制定渔业用水区温水排放标准的依据, 同时也对温水或温流水养殖的管理有参考意义。

关键词 鱼类, 温度, 基准值, 评价标准

温度是随着时间与空间变化而变化的环境因子。它不仅影响水体的许多理化因子, 而且直接影响鱼类本身的生理活动〔吉斯, 1964年中译本〕。许多种水生动物为变温动物, 其种群结构、生长与繁殖等活动都受水温的制约与影响, 而其中以鱼类对水温的反应最为敏感和迅速。当人为因素, 如以每小时向接纳水域排放数万立方米的热电厂温排水(吸热后的冷却水, 温度约升高 10°C 左右)时就会引起接纳水域发生“热污染”。如果热污染引起的升温值超过水体中有关生物的适应范围, 就会引起生物种群的迁移或死亡, 而破坏水域的生物资源〔马斯特斯, 1982年中译本〕。因此, 为了充分利用水力资源和兼顾保护水域生态环境的平衡, 就必需限制工业热水排放温度, 给定一个允许的温排水温度标准, 而该标准的制定, 必须以鱼类及水生生物的温度基准值为依据。

本研究报道了1984—1986年对鱼类最适生长温度, 最大致死高温、短期暴露最大安全高温和低温〔美国环境保护局, 1981年中译本〕, 以及温度与鱼类繁殖、温度与胚胎发育及幼苗成活率等方面的研究结果, 为制订火电厂冷却水排放的温度限制值提供了科学依据。

一、鱼类最适生长温度

1. 试验方法与结果 为了研究温度对鱼类生长的影响, 试验中尽可能排除其它干扰因子。试验水池为循环过滤水鱼池, 各池塘溶氧量及水质良好, O_2 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 NO_3 、pH等指标基本符合我国渔业水质标准。试验期为一个月, 其间进行敞开性投饲。试验初期以每天 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 升温速率驯化, 然后投饲, 生长情况以相对增重率来表示, 取相对增重率最高的温度值作为该种鱼的“生长最适温度”。为了避免个体差异和随机误差, 各种鱼的每个

表1 几种主要淡水鱼类最适生长温度
Table 1 The optimum growth temperatures of major cultured freshwater fishes

鱼种	青鱼				草鱼				鲢				鳙				
	28	30	32	34	30	32	34	36	30	31	32	33	34	30	32	34	36
放养规格(g)	18.4	19.3	18.6	18.4	48.3	41.7	48.3	45	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	5.6	5.4	5.4	4.8
放养密度(尾)	10	11	11	11	15	15	15	15	20	20	20	20	20	20	20	20	20
试验终重(g)	23.4	24.8	24.9	20.3	50	45	51.7	40	0.81	0.91	0.88	0.8	0.79	6.2	6.1	5.8	4.9
净增重量(g)	4.9	5.5	6.3	2.4	1.7	3.3	3.4	-5	0.45	0.55	0.52	0.44	0.43	0.6	0.7	0.4	0.1
相对增重率(%)	26.3	28.8	33.8	13.1	3.5	8.0	6.9	11.1	123.4	152.1	143.5	129.4	118.2	11.4	13.4	7.4	10.6

鱼种	鲤					鲫				鳊			
	28	30	32	34	36	28	30	32	34	28	30	32	34
放养规格(g)	200	192.5	195	195	181.6	60	68.7	57.5	28.7	261.7	271.7	278.3	251.7
放养密度(尾)	20	20	20	20	19	20	20	20	20	30	30	30	30
试验终重(g)	217.5	217.5	217.5	212.5	181.6	67.5	73.5	57.5	30	281.7	298.3	311.7	281.7
净增重量(g)	17.5	25	22.5	17.5	0	7.5	4.8	0	1.3	20	26.6	33.4	30
相对增重率(%)	8.8	13.0	11.5	9.0	0	12.5	6.9	0	4.3	7.6	9.8	12.0	11.9

注：表中数据系1986年试验结果，各温度组控温误差小于0.2℃。

温度组设六次重复，放养密度、试验鱼规格以及试验结果均见表1。

根据1984—1986年多次重复的试验结果，青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)、鲤(*Cyprinus carpio*)、鲫(*Carassius auratus*)和鳊(*Parabramis pekinensis*)的最适生长温度分别为32℃、33℃、33℃、32℃、31℃、29℃和31℃。

2. “鱼类最适生长温度”是最基本的温度评价标准之一，它是指在生态和营养条件良好的情况下，鱼类生长最快，相对增重最大时的水温。鱼类是变温动物，在适宜的温度范围内，温度越高，生长发育愈快。各种鱼类在长期对环境的适应过程中，形成了对环境的一定要求〔施琼芳，1991〕。属于温水性鱼类的青、草、鲢、鳙、鲤、鲫和鳊等，很早就成为人们饲养的优良鱼种，有些种类已输向国外。但是，由于地区性差别(实则为水温差别)，其生长速率差异很大。

二、鱼类最大致死高温

1. 试验方法与结果 随机从本所养殖试验场养殖池(自然水温为25℃—30℃)取体长10—13.2cm的试验鱼，以20尾为一组，分别放入与自然水温相同的自动控温循环水鱼池(深0.5m，0.5m³)。以每24小时1℃的升温速率，使试验水温从25℃—30℃升到38℃~41℃的不同梯度水温后，恒温观察七天并按试验鱼摄食强度投饲，其间保持水质良

好(溶解氧大于3mg/L, $\text{NH}_4\text{-N}$ 低于 0.5mg/L, $\text{NO}_2\text{-N}$ 低于0.18mg/L, pH 为 7~8.5), 试验以鱼停止启闭鱼鳃为死亡状态, 试验结果如表 2。

经过多次重复循环试验, 结果表明 38°C组试验鱼全部存活, 41°C组在一周内全部死亡。根据各温度梯度和相应的死亡率, 可按图解法找出 50%的死亡温度〔川本信之, 1977〕。如对青鱼的几次试验的平均死亡率为 0%(38°C)、3%(39°C)、10%(39.5°C)、70%(40°C)和 100%(41°C), 据这些试验, 青鱼的致死高温可能在 39.5~40.0°C之间。用图解法求出的 50%致死高温为 39.9°C。

表 2 几种主要经济鱼类在不同温度下的死亡率(%)和最大致死高温(1986)
Table 2 Mortality rates (%) and maximum lethal temperatures of major cultured freshwater fishes in different temperatures in 1986

温度(°C)	青鱼	草鱼	鲢	鳙	鲤	鲫	鳊
37.0					0	0	
38.0	0	0			0	5	0
38.5						33	
39.0	3	8	0	0	16	100	7
39.5	10	78	10	12	71	100	95
40.0	70	100	80	81	100		100
40.5			100	100			
41.0	100	100	100	100			
最大致死高温(°C)	39.9	39.4	39.7	39.8	39.3	38.6	39.3

注：最大致死高温系按 1984—1986 年三年试验结果的平均值用图解法求出的 50%致死高温。

2. “最大致死高温”是温度评价标准中最常用的重要指标, 是计算最大周平均温度的重要参数之一。它是指适应了某一驯化温度后的鱼类群体, 在一周内只能有 50%个体可以继续存活温度(亦称起始致死温度)。由于鱼群原来所处的适应水温有高低, 鱼类对温度的适应又有一定的幅度, 因此在不同的驯化温度下, 保证有 50%个体存活的高温值也不相同。有一个驯化温度就有一个相应的半致死高温, 而且半致死温度值随着驯化温度的升高而升高。只有当继续提高驯化温度, 致死温度值不再相应提高时, 该致死温度值才能作为该鱼种的最大致死高温。

试验采用的每 24 小时升温 1°C 的速率, 是国外常用驯化水生动物的适宜升温速率。在此速率下, 鱼类通过调节, 可以逐步适应温度的升高, 不存在升温带来的“热冲击”影响。因此, 试验鱼达到其适热极限而死亡的现象, 基本上能反应该鱼种本身的生物学特性。根据试验环境条件, 我们采用鱼种进行温度敏感与适应程度的试验, 由此所得的最大致死高温值应于同种成鱼大体相近或稍偏高。

三、短期暴露最大温度与最低温度

1. 试验方法与结果 试验鱼(七种), 体长10—13.2cm取自本所试验池。突变升温(短期暴露最大温度)的试验装置为自动控温流水玻璃水族箱(104cm×52cm×52cm)。用锅炉蒸气预热和控温装置调控试验温度, 控温误差小于±0.1°C。试验用水为生物滤床过滤循环水。突变降温(短期暴露致死温度下限)的试验装置为自控温循环流水玻璃水槽(150cm×90cm×100cm)。试验开始时先注入冷冻水降温, 再用控温装置控制水温。

试验鱼先在5°C、10°C、15°C、20°C、25°C、30°C和35°C下驯养7天以上, 其间定期投饲与监测水质, 使试验鱼体质良好。从不同驯化温度的群体各取10尾, 分组按种移养于不同梯度的高水温中, 试验重复三次以上。记录不同高水温下24小时内的死亡率(表3), 以后用图解法求出短期暴露下的50%死亡温度。

表3 几种主要淡水鱼类24小时突变升温(/突变降温)时的50%致死温度(°C)

Table 3 The lethal temperatures of 50% individuals for major cultured freshwater fishes during rapid changes of temperature

驯化温度		青鱼		草鱼		鲢		鳙		鲤		鲫		鳊	
突变升温(°C)	突变降温(°C)	升温致死温度	降温致死温度	升温致死温度	降温致死温度	升温致死温度	降温致死温度	升温致死温度	降温致死温度	升温致死温度	降温致死温度	升温致死温度	降温致死温度	升温致死温度	降温致死温度
5	35		18.5	27.4	15	26.6	16	27.2	15.5	27.8	11		14	25.5	16
10	30	28	12.5	29.3	11	28.9	12	29.9	12	29.4	9	30.2	10	27.8	12.5
15	25	31		31.5	7.5	29.8	6.5	30.4	6.5	33.0		32.2	5	29.8	8
20	20	33.8		33.5	4	32.6	4	33.5	3.5	35.2		35.3	2	32.6	5
25	15	34.3		37		36		35.7		36.6		35.8		35.0	
30	11	38.8		38.8	0	37.6		36.5		37.4	0	36.4	0	37.5	
35	6	39.7		40.5		38.2	0	39.2	0	39.7		39.4		39.2	0

2. 安全受热方程及其应用 将各个不同驯化温度下的短期暴露半致死高温都测试和求解后以 x 为驯化温度和 y 为短期半致死温度, 可求得二者为线性相关。几种主要淡水鱼类短期暴露的安全受热方程为:(1)青鱼: $y = (23.67 + 0.47x) - 2$, ($r = 0.9860$); (2)草鱼: $y = (24.89 + 0.46x) - 2$, ($r = 0.9963$); (3)鲢: $y = (24.47 + 0.42x) - 2$, ($r = 0.9866$); (4)鳙: $y = (25.41 + 0.39x) - 2$, ($r = 0.9913$); (5)鲤: $y = (26.26 + 0.40x) - 2$, ($r = 0.9845$); (6)鲫: $y = (27.12 + 0.34x) - 2$, ($r = 0.9714$); (7)鳊: $y = (23.10 + 0.47x) - 2$, ($r = 0.9985$)。

由于各种试验鱼对温度适应力略有不同, 每种鱼类都有自己特定的方程, 而短期暴露最大高温, 则以接近或等于该鱼生长最大周平均温度为驯化温度。通过方程直接算出半致死高温(“最大短期暴露高温”), 再从中减去2°C, 即得到“短期暴露最大安全高温。”这是在温度评价标准中任何一个地区和时间内的二个温度上限中的又一控温上限, 它对于

局部地段被热水阻隔或封锁的江河湖泊来说具有重要意义,是制订保障过往鱼类穿越“热障”不致发生死亡的限温依据。研究表明,青鱼、草鱼、鲢、鳙、鲤、鲫和鳊的短期暴露最大安全温度分别为 37.9°C 、 39.0°C 、 37.3°C 、 36.9°C 、 37.8°C 、 36.1°C 和 37°C 。

3. 短期暴露最大低温与鱼类的温度敏感区 短期暴露最大低温是指鱼类在适应水温下(如冬季有温排水的水体),由于突然降温(火电厂机组因故障停机或鱼类本身游离温水区)而骤然遭受冷冲击。为了保障温度突降时的鱼类安全,作者亦通过上述试验方法,测定了温度突然下降时,使鱼类半数致死的低温值(表3)。据此,亦求出了几种主要淡水鱼类的驯化温度(x)与短期暴露致死温度下限(y)之间的关系为:(1)鲢; $y = 0.0018x^{2.56}$; (2)鳙; $y = 0.000961x^{2.47}$; (3)草鱼; $y = 0.00363x^{2.89}$; (4)鲫; $y = 0.0000527x^{3.54}$; (5)鳊; $y = 0.00875x^{2.13}$ 。

通过短期暴露温度的上下限,还可绘制鱼的温度敏感区域(图1),并据此计算出该鱼种的热安全区域。图1的驯化线为驯化温度等于致死温度的角平分线。联接不同驯化温度下的致死高温值构成致死温度的上限线,并平行延伸与驯化点C相交。联接各驯化温度下的致死低温,构成致死温度下限线,并垂直延伸与驯化线C相交,即构成热忍受区域(安全区域),该区域以外的区域均为热抵抗区(危险区域)。各种鱼类的热忍受区面积不同,计算单位为摄氏度平方($^{\circ}\text{C}^2$)。经测算,草鱼、鳙、鳊和鲫的热忍受区域的面积分别为 1050°C^2 、 1044°C^2 、 1058°C^2 、 991°C^2 和 1089°C^2 。鲤与青鱼由于致死下限温度资料不足,未能成图。

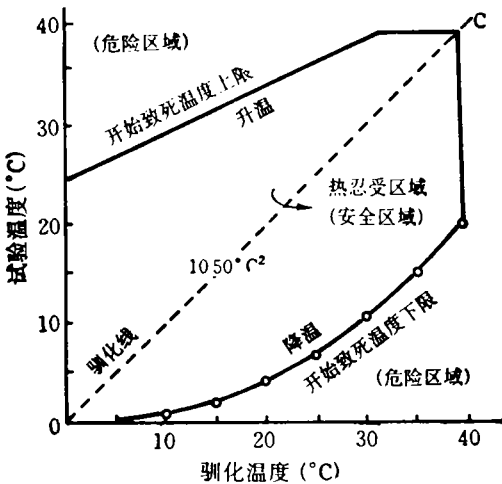


图1 草鱼温度区域图

Fig. 1 Thermorange of grass carp

四、短期暴露最大温度与鱼类的胚胎发育

1. 试验材料与方法 试验用鱼卵与鱼苗取自本所繁殖场。取已发育至原肠期和心跳期的草鱼和鲤胚胎卵各10~20粒,从产卵水温(基础水温)直接移入试验水温处理

0.5~8小时(表4与表5)后,再经自然降温至基础水温。孵出鱼苗24小时后,观察统计成活率。试验鱼苗为刚出膜的正常幼鱼,试验与处理方法同于鱼卵。试验容器为直径30cm、高30cm的玻璃桶,试验用水均经曝气与过滤。温度用714型晶体管继电器控制,试验期的温度误差控制在 0.1°C 。

2. 本试验以发育到原肠胚(对温度的敏感期之一)阶段的草鱼胚胎为代表,用 31°C 、 33°C 、 34°C 和 35°C 高水温进行了1、2、4、6小时的热处理(表4)后,再置于 20°C 和 22°C 水体继续孵化1~6小时,测定热冲击对草鱼胚胎孵化率的影响(表5)。

表4 热冲击下草鱼胚胎发育的畸形率(%)

Table 4 Abnormality of embryonic development of grass carp under thermoshock

处理时间 (小时)	处 理 温 度 ($^{\circ}\text{C}$)				
	31	32	33	34	35
1	7.1	25.0	18.8	63.6	70.0
2	0	52.9	50.0	100.0	100.0
4	16.7	33.3	75.0	100.0	100.0
6	18.8	50.0	80.0	100.0	100.0

表5 热冲击对草鱼胚胎孵化率的影响

Table 5 Effects of thermoshock on embryonic incubation of grass carp

基础水温 ($^{\circ}\text{C}$)	处理时间 (小时)	相关系数	LT50 ($^{\circ}\text{C}$)	LT50的90%可信限 ($^{\circ}\text{C}$)
20	1	-0.8334	32.9	31.3—34.6
	2	-0.9521	32.2	30.6—34.0
	4	-0.9504	31.6	30.3—33.3
	6	-0.9996	31.7	31.4—32.0
22	1	-0.9097	33.2	32.8—33.6
	2	-0.9743	32.0	31.4—32.7
	4	-0.9666	32.0	30.2—34.0
	8	-0.9777	31.5	30.0—33.2

由于各种鱼类胚胎发育速率相差很大,难以用“短期暴露”来表示胚胎存活的最大温度。因此,常用产卵季节中水温范围的上限,作为胚胎存活的最大允许温度[中国淡水养鱼经验总结委员会,1973]。例如,草鱼产卵期的水温范围为 22°C — 28°C ,即以 28°C 为胚胎发育的允许温度上限,这是因为大多数鱼类的最大产卵温度近似于胚胎存活的最大孵化温度,这与本试验的结果也比较吻合。

由表5,当基础温度为 20°C 、 22°C 时,经6到8小时的热冲击后,草鱼半致死温度为 $31.5\sim 31.7^{\circ}\text{C}$ 。随着驯化水温的升高,其半致死温度已不再升高,因此可认为 $31.5\sim 31.7^{\circ}\text{C}$ 为草鱼胚胎发育的最大致死高温。如果取 31.5°C 减去安全系数 2°C 即为 29.5°C 。

试验表明,由 22°C 突变到 30°C, 8 小时后草鱼的孵化率仍可达 88.9%。因此取产卵温度上限(28°C)作为草鱼胚胎存活的最大温度是可行的。

试验所用的短期暴露时间为 8 小时,在有流速的河川或水域中(按一般流速为 1m/s 计),青鱼、草鱼、鲢和鳙浮性卵漂经 28~29 公里长的热污染区的时间为 8 小时,只要热污染区水温不超过 28°C, 孵化率均可保持 95% 以上。对鲤鱼苗的热冲击试验结果也表明, 鲤苗存活率随着温差和热冲击时间的增加而降低。若温差在 12°C 以下, 经受 6 小时热冲击的最大半致死温度为 37°C。鲤等的卵虽是粘性卵, 但孵出鱼苗在未能自主游动前也会随波逐流。因此,在几小时内穿越“热障”的可能性也是存在的。

作者对白鲢、鳙和青鱼胚胎亦进行了试验,发现对这些鱼的胚胎进行热冲击的效果与草鱼相似。根据本试验结果, 取产卵温度范围的上限为胚胎存活最大温度是可行的。为此,拟订青鱼、草鱼、鳙、鲤、鲫和鳊的胚胎存活最大温度值如表 6。

表 6 几种主要淡水鱼类的胚胎存活最大温度值
Table 6 Maximum temperatures of embryonic survivorship
of major cultured freshwater fishes

种 类	青 鱼	草 鱼	鲢	鳙	鲤	鲫	鳊
胚胎存活最大温度(°C)	30	28	28	28	24	20	24

五、几种主要淡水鱼类温度基准值的应用

我国从 1978 年开始着手进行电厂热排放水对鱼类影响的研究工作。1978 年,太湖流域出现特大旱水文年,江苏望亭电厂周围河网地区发生大面积河蚌、鱼群和水生生物等死亡现象,人们认为是由于望亭电厂热污染(循环水排放热水)造成的,从而引起了电力部门及水产部门的重视。

本研究所提供的有关鱼类的温度基准值, 已为水利电力部华东电力设计院在制订的“火力发电厂循环水系统温排水华东地区淡水水域温度排放标准”所引用。该标准规定: 在鱼类养殖场、索饵场、火电厂温排水在允许掺混区边缘外的水温在夏季应小于 34°C, 其它季节应小于鱼类在相应季节的短期暴露安全水温。在鱼类产卵场, 火电厂温排水的水温应满足鱼类产卵、孵化、鱼苗生长和其它繁殖功能对温度的要求, 其限制水温应小于 24—28°C。在其它地区(包括鱼的洄游通道和越冬场等), 火电厂温排水在允许的掺混区边缘外的水温不得超过鱼类在相应月份的短期暴露安全水温。该标准还规定, 在安徽河段、南京河段、江阴河段、长江口、黄浦江、太湖、淮河、河溪、九龙江及闽江等十处河段的短期暴露安全水温及有关温度排放标准(水利电力部华东电力设计院, 1988)。

∞

本所 宫伦祥、肖雨、张中华 及华东电力设计院的 方维强 和 王希 等同志参与本工作, 谨此致谢。

(1) 水利电力部华东电力设计院, 1988。火力发电厂循环水系统温排水华东地区温度排放标准(Y88—S06)。

参 考 文 献

- [1] 中国淡水养鱼经验总结委员会,1973。中国淡水鱼类养殖学,84-147。科学出版社(京)。
[2] 马斯特斯,G. M. (程俊人译),1982。环境科学技术导论,110-111。科学出版社。
[3] 吉斯,A. C. (高 谨译),1964。细胞生理学,53-62。科学出版社。
[4] 美国环境保护局(许家仁译),1981。水质评价标准,254。中国建筑工业出版社(京)。
[5] 施琼芳,1991。鱼类生理学,329-330。农业出版社(京)。
[6] 川本信之,1977。鱼类生理,294-300。恒星社厚生阁。

STUDIES ON THE CRITERIA OF WATER TEMPERATURE FOR MAJOR CULTURED FRESHWATER FISHES

Wang Xijun and Wu Dingan

(*Shanghai Fisheries Research Institute, 200433*)

ABSTRACT This study examines the criteria of water temperature for black carp, grass carp, silver carp, bighead, common carp, etc in the condition of thermal shock. The paper reported the optimum growth temperatures, the maximum lethal temperatures and the short exposure maximum high temperatures for these fishes. All the criteria can be considered as appraisal values of water temperature for the growth and breeding of these fishes. The research results also have the important reference on the management of warm water and flowing-warm water fish cultivation and the controlling of the outflow of warm water into waters where the fishes inhabit.

KEYWORDS fish, temperature, criteria, appraisal standard